

# DEVICE AND METHOD FOR MEASURING OPTICAL SIGNAL VERSUS NOISE RATIO

Publication number: JP2001168813

Also published as:

Publication date: 2001-06-22

 US6671045 (B1)

Inventor: RI SHOKI; SHIN SOEI; SHU KOKYOKU

 DE10049769 (A1)

Applicant: KOREA INST SCIENCE TECHNOLOGY

Classification:

- International: G01J3/51; H04B10/00; H04B10/08; H04B10/16; H04B10/17; H04B17/00; G01J4/04; G01J3/51; H04B10/00; H04B10/08; H04B10/16; H04B10/17; H04B17/00; G01J4/00; (IPC1-7): H04B17/00; G01J3/51; H04B10/00

- European: H04B10/08A2

Application number: JP20000314293 20001013

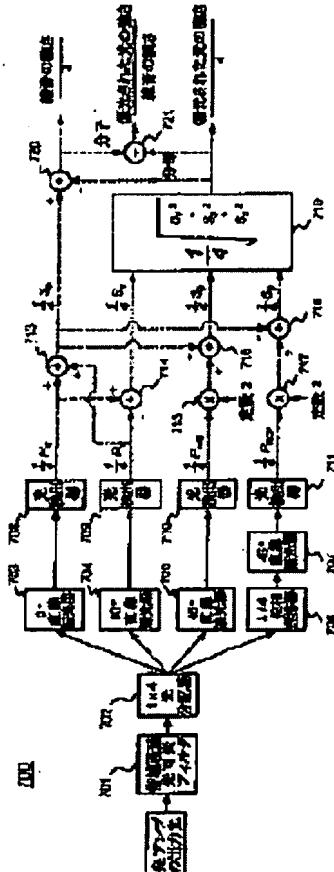
[Report a data error here](#)

Priority number(s): KR19990044723 19991015

**Abstract of JP2001168813**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a device and a method for measuring an optical signal versus noise ratio with respect to an optical communication technology, especially in optical communication employing an optical amplifier.

**SOLUTION:** This device and the method for measuring optical signal versus noise ratio of this invention includes a band-pass optical variable filter, that receives an output light from the optical amplifier and passes the output light with a wavelength coincident with a transmission wavelength, a 1×4 optical distributor that distributes a light passing through the band pass optical variable filter into four, a Stokes parameter measurement means that obtains Stokes parameters S0, S1, S2, S3 from the four distributed lights, a measurement means for the intensity of the optical signal that measures the intensity of the polarized component among the output lights of the optical amplifier on the basis of the Stokes parameters to obtain the intensity of the optical signal, a noise strength measurement means that uses the Stokes media parameter S0 and the intensity of the optical signal to obtain the strength of the noise included in the output light of the optical amplifier, and a division means that uses the intensity of the optical signal and the strength of noise of the optical amplifier to obtain a ratio, the intensity of the optical signal with respect to the transmission wavelength/the noise strength.



Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - Worldwide



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-168813

(P2001-168813A)

(43)公開日 平成13年6月22日 (2001.6.22)

(51)Int.Cl.

H 04 B 17/00  
G 01 J 3/51  
H 04 B 10/00  
10/08

識別記号

F I

テ-マ-ト(参考)

H 04 B 17/00  
G 01 J 3/51  
H 04 B 9/00

M  
Z  
K

審査請求 有 請求項の数10 O L (全 12 頁)

(21)出願番号

特願2000-314293(P2000-314293)

(22)出願日

平成12年10月13日 (2000.10.13)

(31)優先権主張番号 199944723

(32)優先日 平成11年10月15日 (1999.10.15)

(33)優先権主張国 韓国 (K.R.)

(71)出願人 59212/149

韓国科学技術院  
大韓民国大田広城市儒城区九城洞373-1  
番地

(72)発明者 李 昌熹

大韓民国大田広城市儒城区新城洞 (番地なし)  
ハンウルアパート110棟102号

(72)発明者 申 相永

大韓民国ソウル特別市江南区鳴鳴亭洞 (番地なし)  
漢陽アパート9棟711号

(74)代理人 100064908

弁理士 志賀 正式 (外7名)

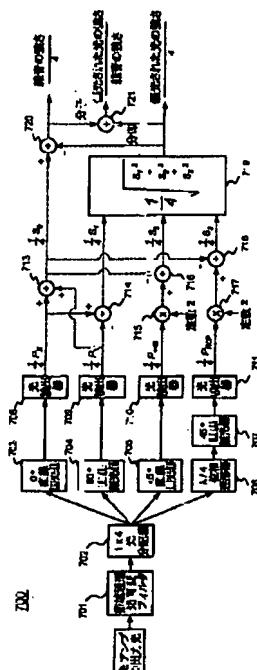
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光信号対雑音比を測定する装置及び方法

(57)【要約】

【課題】 本発明は光通信技術に係り、特に光アンプを用いる光通信での光信号対雑音比を測定する装置及び方法を提供する。

【解決手段】 本発明においては光信号対雑音比測定装置は、光アンプの出力光が入力されると透過波長と一致する波長の前記出力光を通過させる帯域通過光可変フィルタと；前記帯域通過光可変フィルタを通過した光を四つに分配する $1 \times 4$ 光分配器と；前記分配された四つの光からストークス媒介変数 $S_0, S_1, S_2, S_3$ を求めるストークス媒介変数測定手段と；前記ストークス媒介変数から前記光アンプの出力光のうち偏光された成分の強さを測定し光信号の強さを求める光信号の強さの測定手段と；前記ストークス媒介変数 $S_0$ と前記光信号の強さとを用いて前記光アンプの出力光に含まれた雑音の強さを求める雑音の強さ測定手段と；及び前記光アンプの光信号の強さと雑音の強さとを用いて透過波長に対する光信号の強さ／雑音の強さを求める除算手段とを含む。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光アンプの出力光が入力されると透過波長と一致する波長の前記出力光を通過させる帯域通過光可変フィルタと；前記帯域通過光可変フィルタを通過した光を四つに分配する $1 \times 4$ 光分配器と；前記分配された四つの光からストークス媒介変数 $S_0, S_1, S_2, S_3$ を求めるストークス媒介変数測定手段と；前記ストークス媒介変数 $S_1, S_2, S_3$ から前記光アンプの出力光のうち、偏光された成分の強さを測定し光信号の強さを求める光信号の強さの測定手段と；前記ストークス媒介変数 $S_0$ と前記光信号の強さとを用いて前記光アンプの出力光に含まれた雑音の強さを求める雑音の強さの測定手段；及び前記光アンプの光信号の強さと雑音の強さとを用いて透過波長に対する光信号の強さ／雑音の強さを求める除算手段とを含み、

前記帯域通過光可変フィルタの透過波長を可変させ全ての波長での光信号の強さ／雑音の強さを測定し、前記光信号の強さ／雑音の強さのピーク値を探し光信号対雑音比を求ることを特徴とする光信号対雑音比を測定する装置。

【請求項2】 前記ストークス媒介変数測定手段は、前記分配された四つの光のうちの一つが入力されると $0^\circ$ 直線偏光成分の強さ( $P_x$ )を検出する $0^\circ$ 直線偏光手段と、

前記分配された四つの光のうちの他の一つが入力されると $90^\circ$ 直線偏光成分の強さ( $P_y$ )を検出する $90^\circ$ 直線偏光手段と、

前記分配された四つの光のうちまた他の一つが入力されると $45^\circ$ 直線偏光成分の強さ( $P_{45}$ )を検出する $45^\circ$ 直線偏光手段と、

前記分配された四つの光のうちまた他の一つが入力されると右回転円形偏光成分の強さ( $P_{RCP}$ )を検出する円形偏光手段、及び前記 $0^\circ$ 直線偏光手段と前記 $90^\circ$ 直線偏光手段と前記 $45^\circ$ 直線偏光手段と前記円形偏光手段とから出力された各偏光成分の強さ( $P_x, P_y, P_{45}, P_{RCP}$ )からストークス媒介変数 $S_0, S_1, S_2, S_3$ を求めるストークス媒介変数計算手段とを含むことを特徴とする請求項1に記載の光信号対雑音比を測定する装置。

【請求項3】 前記円形偏光手段は、

前記入力された光の位相を遅滞させ直交する $0^\circ$ 直線偏光と $90^\circ$ 直線偏光の位相差が $\lambda/4$ になるようにする $\lambda/4$ 位相遅滞器と、前記 $\lambda/4$ 位相遅滞器を通過した光の $45^\circ$ 直線偏光成分だけを通過させる $45^\circ$ 直線偏光器とを含むことを特徴とする請求項2に記載の光信号対雑音比を測定する装置。

【請求項4】 上記ストークス媒介変数計算手段は、前記 $0^\circ$ 直線偏光成分の強さ( $P_x$ )と $90^\circ$ 直線偏光成分の強さ( $P_y$ )とを合わせストークス媒介変数 $S_0$ を

求める第1加算器と、

前記 $0^\circ$ 直線偏光成分の強さ( $P_x$ )から $90^\circ$ 直線偏光成分の強さ( $P_y$ )を減算してストークス媒介変数 $S_1$ を求める第2加算器と、

前記 $45^\circ$ 直線偏光成分の強さ( $P_{45}$ )と定数2を乗算する第1乗算器と、

前記第1乗算器の出力値( $2P_{45}$ )からストークス媒介変数 $S_0$ を減算してストークス媒介変数 $S_2$ を求める第3加算器と、

前記右回転円形偏光成分の強さ( $P_{RCP}$ )と定数2を乗算する第2乗算器、及び前記第2乗算器の出力値( $2P_{RCP}$ )からストークス媒介変数 $S_0$ を減算してストークス媒介変数 $S_3$ を求める第4加算器とを含むことを特徴とする請求項2または請求項3に記載の光信号対雑音比を測定する装置。

【請求項5】 前記帯域通過光可変フィルタはファブリ・ペロー(Fabry-Perot)可変フィルタであることを特徴とする請求項1に記載の光信号対雑音比を測定する装置。

【請求項6】 前記帯域通過光可変フィルタは格子を含む集積光学素子であることを特徴とする請求項1に記載の光信号対雑音比を測定する装置。

【請求項7】 前記帯域通過光可変フィルタは多層薄膜素子であることを特徴とする請求項1に記載の光信号対雑音比を測定する装置。

【請求項8】 光アンプの出力光の最初の波長を透過させる第1段階と；前記透過された光を四つに分配する第2段階と；前記分配された四つの光からストークス媒介変数 $S_0, S_1, S_2, S_3$ を求める第3段階と；前記ストークス媒介変数 $S_1, S_2, S_3$ から光アンプの出力光のうち偏光された成分の強さを測定する光信号の強さを求める第4段階と；前記ストークス媒介変数 $S_0$ と前記光信号の強さとを用いて前記光アンプの出力光に含まれた雑音の強さを求める第5段階と；前記光アンプの光信号の強さと雑音の強さとを用いて透過波長に対する光信号の強さ／雑音の強さを求める第6段階と；透過波長を次第に増加させながら前記第2段階乃至第6段階を繰り返し行い前記出力光の全ての波長での光信号の強さ／雑音の強さを測定する第7段階；及び前記測定された光信号の強さ／雑音の強さのピーク値を探し光信号対雑音比を求める第8段階とからなることを特徴とする光信号対雑音比を測定する方法。

【請求項9】 前記第3段階は、前記分配された四つの光から $0^\circ$ 直線偏光成分の強さ( $P_x$ )と、 $90^\circ$ 直線偏光成分の強さ( $P_y$ )と、 $45^\circ$ 直線偏光成分の強さ( $P_{45}$ )と、右回転円形偏光成分の強さ( $P_{RCP}$ )を検出する第1小段階と；前記各偏光成分の強さ( $P_x, P_y, P_{45}, P_{RCP}$ )からストークス媒介変数 $S_0, S_1, S_2, S_3$ を計算する第2小段階とを含むことを特徴とする請求項8に記載の光信号対雑音比を測定する方法。

【請求項10】前記第2小段階は、前記0°直線偏光成分の強さ( $P_x$ )と90°直線偏光成分の強さ( $P_y$ )とを合わせストークス媒介変数 $S_0$ を求め、前記0°直線偏光成分の強さ( $P_x$ )から90°直線偏光成分の強さ( $P_y$ )を減算してストークス媒介変数 $S_1$ を求め、前記45°直線偏光成分の強さ( $P_{45}$ )と定数2を乗算した後、ストークス媒介変数 $S_0$ を減算してストークス媒介変数 $S_2$ を求め、前記右回転円形偏光成分の強さ( $P_{RCP}$ )と定数2を乗算した後、ストークス媒介変数 $S_0$ を減算してストークス媒介変数 $S_3$ を求める段階であることを特徴とする請求項9に記載の光信号対雑音比を測定する方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信技術に係り、特に光アンプを用いる光通信においての光信号対雑音比(optical signal-to-noise ratio)を測定する方法及び装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】光アンプとは、光電/電光の変換無しに光信号を増幅する装置として、増幅する光信号の伝送速度や伝送フォーマットに依存しない。このような光アンプは、光信号を光電変換した後に増幅し、再び電光変換し光信号へと再生する従来の光中継器に代わって用いられている。特に、光アンプは広い帯域の互いに異なる波長の多くの光信号を同時に増幅できるので、光通信の伝送容量を高めるために多くのチャネルの光信号をそれぞれ異なる波長に分割多重し伝送する波長分割多重光通信において核心的な役割を果たす。

## 【0003】このような光アンプは、入力光信号を増幅

し出力するだけでなく、広い波長帯域の雑音を光信号と共にに出力する。このような光アンプの出力光に含まれた雑音を制御するために光フィルタを使用したりもするが、それでも光信号と同一な波長の雑音は制御することができない。光通信網の伝送品質を判断する一つの尺度として光信号の強さを光信号と同じ波長の雑音の強さで除算した光信号対雑音比を用いているところ、光通信網の運用面において、光信号対雑音比を光線路またはノードで監視する必要がある。

【0004】図1は光フィルタを使用しない波長分割多重方式光通信において、波長分割多重された光信号が光アンプにより増幅された時、光アンプの出力光を従来の光スペクトル分析装置で検出したグラフ図である。

【0005】光信号対雑音比は測定しようとする光信号の強さを、その光信号と同一な波長の雑音の強さで除算した値であるが、図1に示したように、雑音が光信号と共に検出されるので雑音の強さだけを直接測定することができない。

【0006】図2は図1に図示された光アンプの出力光から光信号対雑音比を測定する方法を説明するために図示したグラフ図である。

【0007】出力光の光信号対雑音比を測定するためには、まず光アンプを通過した波長分割多重された光信号の光スペクトルを測定する。測定した光スペクトルから最初のピークの光の強さAを探した後、その両側周辺波長の雑音の強さa, bを測定する。その次に、両雑音の強さaとbの平均強さ、即ち $(a+b)/2$ を求め光信号1の波長での雑音の強さと仮定し、下記の《数1》に適用して光信号1の光信号対雑音比を求める。

## 【数1】

$$\text{光信号1の光信号対雑音比} = \frac{A - (a+b)/2}{(a+b)/2}$$

【0008】残りの二つの光信号2と光信号3の光信号対雑音比も同じ方法で測定することができる。

【0009】しかし、図2のような従来の方法では光信号対雑音比を測定できない場合が時々ある。図3はこのような場合を説明するために図示した図面として、波長分割多重方式光通信において光アンプの雑音を除去するために光フィルタを使用した場合、光アンプの出力光を従来の光スペクトル分析装置で示したグラフ図である。光信号対雑音比を測定するためには光信号の周辺波長での雑音の強さを知る必要があるが、この時光信号と雑音の区分が明らかでないため図2の方法を用いることができない。

【0010】図4はこのような問題を解決するための装置を図示した構成図として、偏光調節器と直線偏光器を用いて光信号対雑音比を測定する装置を図示した図面である。このような装置を用いると図3のような場合にも

光信号対雑音比を測定することができる。

【0011】図4に図示された光信号対雑音比測定装置400は、M.Rasztovits-Wiech, M.Danner及びW.R.Leebが学会誌『98European Conference on Optical Communication, p.549-550, 1998.』に発表した論文「Optical Signal-to-Noise Ratio Measurement in WDM Networks Using Polarization Extinction」に公開されている。

【0012】光通信にて一般的に使用される光源はレーザダイオードであり、レーザダイオードにて出力される光は100%直線偏光された状態なので、たとえ光ファイバを進行させながら偏光状態が変形されたとしても光信号はやはり100%偏光された状態である。その反面、光アンプにて出力される雑音は無作為に発生した全ての偏光状態の光で成されているので100%偏光されていない状態である。

【0013】従って、入力光の偏光を調節し出力する偏

光調節器401と、偏光軸と一致する成分の光だけを通過させる直線偏光器402を用いて光アンプにて増幅された光信号を除去すれば望む雑音の強さを測定できる。何故なら、100%偏光された光信号は、光ファイバを行進しながら偏光状態が変更されたとしても偏光調節器401を用いれば任意の偏光状態に100%変換可能なため、直線偏光器402の偏光軸と90°直交した直線偏光状態に変換すれば100%除去が可能である。しかし、雑音は全ての偏光状態の光で成されているので、たとえ偏光を調節しても直線変更機402を通過する雑音の強さは常に元の半分に減るだけである。

【0014】図4を参照すれば、図1に図示したような光スペクトルを有する光アンプの出力光は偏光調節器401に入力される。先に、偏光調節器401を調整し直線偏光器402と帯域通過光可変フィルタ403を経て光検出器404に入力される光の強さが最大になるようにした後、その値を測定する。その次に偏光調節器401を調整し光検出器404に入力される光の強さが最小になるようにした後、その値を測定する。このような手順を帯域通過光可変フィルタ403の通過波長を可変し入力される光アンプ出力光の全てのスペクトルにわたって繰り返す。

【0015】図5(a)は図4の偏光調節器に、図1のような光スペクトルを有する光アンプの出力光が入力され光検出器に入力される光の強さが最大の時の測定値を波長によって図示したグラフ図であり、図5(b)は図4の光検出器に入力される光の強さが最小の時の測定値を波長により図示したグラフ図である。

【0016】図5(a)の光スペクトルで、ピークの光の強さは光信号の強さと雑音の強さの半分を合わせた値である。そして、図5(b)の光スペクトルで、光の強さは元の雑音の強さの半分に該当する値である。従って光信号1の光信号対雑音比は、下記の《数2》に適用し求めることができる。

【数2】

$$\text{光信号1の光信号対雑音比} = \frac{D-d}{2 \times d}$$

【0017】残りの二つの光信号2と光信号3の光信号対雑音比もやはり同じ方法で測定することができる。

【0018】図6(a)は、図4の偏光調節器に図3のような光スペクトルを有する光アンプの出力光が入力された時、光検出器に入力される光の強さが最大の時の測定値を波長によって図示したグラフ図であり、図6(b)は図4の光検出器に入力される光の強さが最小の時の測定値を波長によって図示したグラフ図である。

【0019】この時、図6(a)の光スペクトルで、ピークの光の強さは光信号の強さと雑音の強さの半分を合わせた値である。図6(b)の光スペクトルで、光の強さは元の雑音の強さの半分に該当する値である。従って、光信号1の光信号対雑音比を下記の《数3》に適用

し求めることができる。

【数3】

$$\text{光信号1の光信号対雑音比} = \frac{E-e}{2 \times e}$$

【0020】残りの二つの光信号2と光信号3の光信号対雑音比もやはり同じ方法で測定することができる。

【0021】しかし、図4では偏光調節器401を調整し各波長毎に光検出器404に受信される光の強さの最大値と最小値を探す必要があるので、光信号対雑音比を測定するのに多くの時間が掛かり、偏光調節器401を調整するための複雑な能動制御回路が必要になるという問題点がある。

【0022】

【発明が解決しようとする課題】従って、本発明は前記の従来の技術の問題点を解決するために案出されたものとして、光アンプ出力光のストークス媒介変数を測定し光信号対雑音比を測定する装置と方法を提供することにその目的がある。

【0023】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するための本発明による光信号対雑音比を測定する装置は、光アンプの出力光が入力されると透過波長と一致する波長の前記出力光を通過させる帯域通過光可変フィルタと；前記帯域通過光可変フィルタを通過する光を四つに分割する $1 \times 4$ 光分配器と；前記分配された四つの光からストークス媒介変数 $S_0, S_1, S_2, S_3$ を求めるストークス媒介変数測定手段と；前記ストークス媒介変数 $S_0, S_1, S_2, S_3$ から前記光アンプの出力光のうち偏光された成分の強さを測定し光信号の強さを求める光信号の強さの測定手段と；前記ストークス媒介変数 $S_0$ と前記光信号の強さとを用いて前記光アンプの出力光に含まれた雑音の強さを求める雑音の強さの測定手段と；及び前記光アンプの光信号の強さと雑音の強さを用いて透過波長に対する光信号の強さ／雑音の強さを求める除算手段とを含み、前記帯域通過光可変フィルタの透過波長を可変させ全ての波長での光信号の強さ／雑音の強さを測定し、前記光信号の強さ／雑音の強さのピーク値を探し光信号対雑音比を求めることを特徴とする。

【0024】好ましくは、前記ストークス媒介変数測定手段は、前記分配された四つの光のうち一つが入力されると $0^\circ$ 直線偏光成分の強さ( $P_x$ )を検出する $0^\circ$ 直線偏光手段と、前記分配された四つの光のうち他の一つが入力されると $90^\circ$ 直線偏光成分の強さ( $P_y$ )を検出する $90^\circ$ 直線偏光手段と、前記分配された四つの光のうちまた他の一つが入力されると $45^\circ$ 直線偏光成分の強さ( $P_{45}$ )を検出する $45^\circ$ 直線偏光手段と、前記分配された四つの光のうちまた他の一つが入力されると右回転円形偏光成分の強さ( $P_{RCP}$ )を検出する円形偏光手段、及び前記 $0^\circ$ 直線偏光手段と前記 $90^\circ$ 直線偏光手段と前記 $45^\circ$ 直線偏光手段と前記円形偏光手段

とから出力された各偏光成分の強さ ( $P_x$ 、 $P_y$ 、 $P_{45}$ 、 $P_{RCP}$ ) からストークス媒介変数  $S_0$ 、 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  を求めるストークス媒介変数計算手段とを含む。

【0025】より好ましくは、前記円形偏光手段は、前記入力された光の位相を遅滞させ直交する  $0^\circ$  直線偏光と  $90^\circ$  直線偏光の位相差が  $\lambda/4$  になるようにする入/ $\lambda/4$  位相遅滞器と、前記入/ $\lambda/4$  位相遅滞器を通過した光の  $45^\circ$  直線偏光成分だけを通過させる  $45^\circ$  直線偏光器とを含む。

【0026】より好ましくは、前記ストークス媒介変数計算手段は、前記  $0^\circ$  直線偏光成分の強さ ( $P_x$ ) と、 $90^\circ$  直線偏光成分の強さ ( $P_y$ ) を合わせストークス媒介変数  $S_0$  を求める第1加算器と、前記  $0^\circ$  直線偏光成分の強さ ( $P_x$ ) から  $90^\circ$  直線偏光成分の強さ ( $P_y$ ) を減算してストークス媒介変数  $S_1$  を求める第2加算器と、前記  $45^\circ$  直線偏光成分の強さ ( $P_{45}$ ) と定数2を乗算する第1乗算器と、前記第1乗算器の出力値 ( $2P_{45}$ ) からストークス媒介変数  $S_0$  を減算してストークス媒介変数  $S_2$  を求める第3加算器、及び前記第2乗算器の出力値 ( $2P_{RCP}$ ) からストークス媒介変数  $S_0$  を減算してストークス媒介変数  $S_3$  を求める第4加算器とを含む。

【0027】好ましくは、前記帯域通過光可変フィルタはファブリ・ペロー (Fabry-Perot) 可変フィルタ、または格子を含む集積光学素子、または多層薄膜素子で具現することができる。

【0028】また、本発明による光信号対雑音比を測定する方法は、光アンプの出力光の初めの波長を透過する第1段階と；前記透過された光を四つに分配する第2段階と；前記分配された四つの光からストークス媒介変数  $S_0$ 、 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  を求める第3段階と；前記ストークス媒介変数  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  から光アンプの出力光のうち偏光された成分の強さを測定し光信号の強さを求める第4段階と；前記ストークス媒介変数  $S_0$  と前記光信号の強さとを用いて前記光アンプの出力光に含まれた雑音の強さを求める第5段階と；前記光アンプの光信号の強さと雑音の強さを用いて透過波長に対する光信号の強さ/雑音の強さを求める第6段階と；透過波長を徐々に増加させながら前記第2段階乃至第6段階を繰り返し遂行し前記出力光の全ての波長での光信号の強さ/雑音の強さを測定する第7段階；及び前記測定された光信号の強さ/雑音の強さのピーク値を探し光信号対雑音比を求める第8段階とで成されることを特徴とする。

【0029】好ましくは、前記第3段階は、前記分配された四つの光から  $0^\circ$  直線偏光成分の強さ ( $P_x$ ) と、 $90^\circ$  直線偏光成分の強さ ( $P_y$ ) と、 $45^\circ$  直線偏光成分の強さ ( $P_{45}$ ) と、右回転円形偏光成分の強さ ( $P_{RCP}$ ) を検出する第1小段階と；前記各偏光成分の強さ ( $P_x$ 、 $P_y$ 、 $P_{45}$ 、 $P_{RCP}$ ) からストークス媒介変数  $S_0$ 、 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  を計算する第2小段階とを含む。

【0030】より好ましくは、前記第2小段階は、前記  $0^\circ$  直線偏光成分の強さ ( $P_x$ ) と  $90^\circ$  直線偏光成分の強さ ( $P_y$ ) を合わせストークス媒介変数  $S_0$  を求め、前記  $0^\circ$  直線偏光成分の強さ ( $P_x$ ) から  $90^\circ$  直線偏光成分の強さ ( $P_y$ ) を減算してストークス媒介変数  $S_1$  を求め、前記  $45^\circ$  直線偏光成分の強さ ( $P_{45}$ ) と定数2を乗算した後、ストークス媒介変数  $S_0$  を減算してストークス媒介変数  $S_2$  を求め、前記右回転円形偏光成分の強さ ( $P_{RCP}$ ) と定数2を乗算した後ストークス媒介変数  $S_0$  を減算してストークス媒介変数  $S_3$  を求める段階である。

【0031】

【発明の実施の形態】以下に、添付された図面を参照して本発明の一実施形態を説明すると次の通りである。

【0032】図7は本発明の一実施形態による光信号対雑音比を測定する装置700を図示した図面である。これは帯域通過光可変フィルタ701と、 $1 \times 4$  光分配器702と、四つの直線偏光器703、704、705、707と、 $\lambda/4$  位相遅滞器706と、四つの光検出器708、709、710、711と、五つの加算器713、714、716、718、720と、二つの乗算器715、717と、信号処理手段719、及び除算器721とで成される。

【0033】前記の帯域通過光可変フィルタ701は、光アンプの出力光のうち透過波長と一致する成分の光を通過させる。 $1 \times 4$  光分配器702は入力された光を四つに分割し  $0^\circ$  直線偏光器703、 $90^\circ$  直線偏光器704、及び  $45^\circ$  直線偏光器705と位相遅滞器706にそれぞれ入力する。 $0^\circ$  直線偏光器703からは  $0^\circ$  直線偏光された成分の強さ ( $P_x/4$ ) が得られ、 $90^\circ$  直線偏光器704からは  $90^\circ$  直線偏光された成分の強さ ( $P_y/4$ ) が得られ、 $45^\circ$  直線偏光器705からは  $45^\circ$  直線偏光された成分の強さ ( $P_{45}/4$ ) が得られる。位相遅滞器706の出力光が  $45^\circ$  直線偏光器707を通過すると右回転円形偏光された成分の強さ ( $P_{RCP}/4$ ) が得られる。

【0034】各偏光された成分の強さ ( $P_x/4$ 、 $P_y/4$ 、 $P_{45}/4$ 、 $P_{RCP}/4$ ) は光検出器708、709、710、711から得ることができ、加算器713、714、716、718と乗算器715、717により適切に計算すればストークス媒介変数  $S_0/4$ 、 $S_1/4$ 、 $S_2/4$ 、 $S_3/4$  を求めることができる。

【0035】前記の信号処理手段719は  $S_1/4$ 、 $S_2/4$ 、及び  $S_3/4$  が入力されると

【数4】

$$\frac{1}{4} \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}$$

を信号処理し、偏光された光の強さ/4、即ち光信号の強さ/4を計算し出力する。

【0036】この光信号の強さ/4から雑音の強さ/4

を求め、除算器721はこの両値を除算して光信号の強さ／雑音の強さを求める。

【0037】前記のストークス媒介変数 $S_0$ 、 $S_1$ 、 $S_2$ 、及び $S_3$ は次のように定義されている。  
 $S_0$ ＝偏光された光の強さと偏光されていない光の強さの合計  
 $S_1 = P_x (0^\circ \text{ 直線偏光成分の強さ}) - P_y (90^\circ \text{ 直線偏光成分の強さ})$

$S_2 = P_{45} (+45^\circ \text{ 直線偏光成分の強さ}) - P_{-45} (-45^\circ \text{ 直線偏光成分の強さ})$

$$S_0 = P_x + P_y = P_{45} + P_{-45} = P_{RCP} + P_{LCP}$$

$$S_1 = P_x - P_y = P_x - (S_0 - P_x) = 2P_x - S_0$$

$$S_2 = P_{45} - P_{-45} = P_{45} - (S_0 - P_{45}) = 2P_{45} - S_0$$

$$S_3 = P_{RCP} - P_{LCP} = P_{RCP} - (S_0 - P_{RCP}) = 2P_{RCP} - S_0$$

【0039】そして、光信号は100%偏光され、光アンプの雑音は100%偏光されないので光信号対雑音比

【数6】

光信号の強さ＝偏光された成分の強さ

$$= \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}$$

雑音の強さ＝無偏光された成分の強さ

＝光の強さの合-光信号の強さ

$$= S_0 - \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}$$

∴ 光信号対雑音比＝光信号の強さ／雑音の強さ

【0040】このようにストークス媒介変数から光信号の強さを求める過程は文献 [『Principles of Optics Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light』 by Max Born and Emil Wolf, 6th Ed. PERGAMON PRESS, pp.554-555.] と [Hewlett Packard Product Note 8509-1, 『Polarization Measurement of Signals and Components』, pp5.] を参照すればより詳しく知ることができる。

【0041】前記のように成された本発明による装置の作用及び効果は次の通りである。

【0042】まず、帯域通過光可変フィルタ701の透過波長を光アンプの出力光スペクトルの最初の波長に設定する。そうすれば光アンプの出力光のうち帯域通過光可変フィルタ701の透過波長と一致する成分の光が通過し $1 \times 4$ 光分配器702に入力される。前記の $1 \times 4$ 光分配器702は入力された光を四つに分けてそれぞれ $0^\circ$ 直線偏光器703と、 $90^\circ$ 直線偏光器704、 $45^\circ$ 直線偏光器705、 $\lambda/4$ 位相遅滞器706に一つずつ入力する。

【0043】 $0^\circ$ 直線偏光器703に入力された光は $0^\circ$ 偏光軸成分だけが通過し光検出器708に入力され、光検出器708の出力値は帯域通過光可変フィルタ701

45°直線偏光成分の強さ)

$S_3 = P_{RCP}$  (右回転円形偏光成分の強さ) -  $P_{LCP}$  (左回転円形偏光成分の強さ)

【0038】なお、(0°直線偏光と90°直線偏光)、(+45°直線偏光と-45°直線偏光)及び(右回転円形偏光と左回転円形偏光)はそれぞれ完全直交集合 (complete orthogonal set) なので下記の《数5》のような式が成立する。

【数5】

は下記の《数6》の通り求めることができる。

【数6】

$$\frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}{S_0 - \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}$$

1を通過した出力光の $P_x/4$ と一致する。90°直線偏光器704に入力された光は90°偏光軸成分だけが通過し光検出器709に入力され、光検出器709の出力値は帯域通過光可変フィルタ701を通過した光の $P_y/4$ と一致する。45°直線偏光器705に入力された光は45°偏光軸成分だけが通過し光検出器710に入力され、光検出器710の出力値は帯域通過光可変フィルタ701を通過した光の $P_{45}/4$ と一致する。

【0044】 $\lambda/4$ 位相遅滞器706は入力光の90°偏光成分の位相を遅滞させ $0^\circ$ 偏光成分との位相差が入 $/4$ になるようになる。そうすると、 $\lambda/4$ 位相遅滞器706に入力された光の右回転偏光成分が45°直線偏光へと変換され45°直線偏光器707に入力されるので、 $\lambda/4$ 位相遅滞器706に入力された光は右回転偏光成分だけが45°直線偏光器707を通過し光検出器711に入力される。従って、光検出器710の出力値は帯域通過光可変フィルタ701を通過した光の $P_{RCP}/4$ と一致する。

【0045】前記の $P_x/4$ と $P_y/4$ を加算器713に入力し二つを加算すると $S_0/4$ が出力される。前記した $P_x/4$ と $P_y/4$ を加算器714に入力し $P_x/4$ から $P_y/4$ を減算すれば $S_1/4$ が出力される。前記した

$P_{45}$ を乗算器715に入力し定数2を乗算した後、 $S_0/4$ と共に加算器716に入力し $P_{45}/2$ から $S_0/4$ を減算すれば $S_2/4$ が出力される。前記の $P_{RCP}/4$ を乗算器717に入力し定数2を乗算した後、 $S_0/4$ と共に加算器718に入力し $P_{RCP}/2$ から $S_0/4$ を減算すれば $S_3/4$ が出力される。前記の $S_1/4$ と $S_2/4$ と $S_3/4$ は信号処理手段719に入力されるが、この信号処理手段719が変更された光の強さ/4を出力する。変更された光の強さは《数5》の通り

【数7】

$$\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}$$

である。

【0046】また、 $S_0/4$ と偏光された光の強さ/4を加算器720に入力し $S_0/4$ から偏光された光の強さ/4を減算すれば雑音の強さ/4が出力される。前記の雑音の強さは《数5》の通り

【数8】

$$S_0 - \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}$$

である。

【0047】最後に、前記の偏光された光の強さ/4と雑音の強さ/4を除算器721に入力し偏光された光の強さ/4を雑音の強さ/4で除算すると偏光された光の強さ/雑音の強さを求めることができる。

【0048】前記の光信号対雑音比(=偏光された光の強さ/雑音の強さ)を求める手順を帯域通過光可変フィルタ701の透過波長を一段階ずつ増加させながら透過波長が光アンプ出力光のスペクトルの最後の波長になるまで繰り返す。そして、偏光された光の強さ/雑音の強さのピーク値を探せばそれらがまさしく波長分割多重方式光通信での波長分割多重された光信号の光信号対雑音比である。何故なら、帯域通過光可変フィルタの透過波長が光信号と一致する時に偏光された光の強さ/雑音の強さがピーク値を有するからである。

【0049】図8(a)および図8(b)は、光フィルタを用いた光アンプの出力光を従来の光スペクトル分析装置を用いて分析したグラフ図である。この時、図8(a)は光信号は無くただ光アンプの雑音だけが光フィルタを通過した場合として、広い波長の雑音と光フィルタの透過曲線が乗算された形態の光スペクトルが検出される。そして、図8(b)は光フィルタ透過曲線の左側ピークと波長が一致する光信号がある場合として、光信号の強さが同じ波長の雑音の強さより9.66倍大きい。従って、この場合光信号対雑音比は9.85dB( $=10 \log_{10} 9.66$ )になる。

【0050】図9(a)は、図8(b)のように光スペクトルを有する光アンプの出力光を図7の帯域通過光可変フィルタ701に入力し測定したストークス媒介変数 $S_0, S_1, S_2, S_3$ を波長に対して示したグラフ図であ

り、図9(b)は、測定したストークス媒介変数 $S_0$ と雑音の強さを波長に対して示したグラフ図である。

【0051】図10は、図9(b)に図示されたストークス媒介変数 $S_0$ と雑音の強さから計算された光信号対雑音比(=偏光された光の強さ/雑音の強さ)を波長に対して示したグラフ図である。図10(b)に図示された通り、ピーク値が約10dBとして図8にて与えられた光信号対雑音比と殆ど一致する。

【0052】もちろん、図1のように光フィルタを用いない波長分割多重方式光通信において波長分割多重された光信号が光アンプにより増幅された時、光アンプの出力光からも同じ方法を用いて光信号対雑音比を測定することができる。

【0053】図11は本発明の一実施形態による光信号対雑音比測定方法を図示したフローチャートである。まず、帯域通過光可変フィルタ701の透過波長を光アンプの出力光スペクトルの最初の波長に設定する(S101)。帯域通過光可変フィルタ701を通過した光を四つに分配する(S102)。分配した四つの光から0°直線偏光成分の強さである $P_x, 90^\circ$ 直線偏光成分の強さである $P_y, 45^\circ$ 直線偏光成分の強さである $P_z$ 、右回転円形偏光成分の強さである $P_{RCP}$ をそれぞれ検出する(S103)。検出した $P_x, P_y, P_z$ 及び $P_{RCP}$ から四つのストークス媒介変数 $S_0, S_1, S_2$ 及び $S_3$ を求める(S104)。ストークス媒介変数 $S_1, S_2$ と $S_3$ を信号処理し偏光された光の強さ

【数9】

$$\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}$$

を求める(S105)。ストークス媒介変数 $S_0$ にて偏光された光の強さを減算して雑音の強さを求める(S106)。偏光された光の強さを雑音の強さで除算する(S107)。

【0054】その次に、帯域通過光可変フィルタ701の透過波長が入力される光アンプの出力光スペクトルの最後の波長より大きいかを比べる(S108)。もし、帯域通過光可変フィルタ701の透過波長が入力される光アンプの出力光スペクトルの最後の波長より大きくないう場合、帯域通過光可変フィルタ701の透過波長を一段階増加させる(S109)。そして、段階S102に進行し帯域通過光可変フィルタ701を透過した光を四つに分配することから繰り返す。

【0055】もし、帯域通過光可変フィルタ701の透過波長が入力される光アンプの出力光スペクトルの最後の波長より大きいなら、段階S107にて計算した偏光された光の強さを雑音の強さで除算した値のピーク値を探す(S110)。このピーク値が光アンプ出力光の光信号対雑音比である。

【0056】以上にて本発明に関する技術思想を添付図面と共に叙述したが、これらは本発明の最も良好な実施

形態を例示的に説明したものであり、本発明を限定するものではない。また、この技術分野の通常の知識を持つ者なら誰でも本発明の技術思想のカテゴリーを逸脱しない範囲内にて様々な変形及び模倣が可能であることは明白な事実である。

#### 【0057】

【発明の効果】以上のように本発明は、偏光を調節するための偏光調節器や偏光調節器を調整するための複雑な能動回路が必要無く、光アンプの出力光のストークス媒介変数を用いて光信号対雑音比を測定するので光信号対雑音比の測定時間を短縮できる効果がある。また、簡単なハードウェアで光信号対雑音比を正確に測定できる効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 光フィルタを使用しない波長分割多重方式光通信において、波長分割多重された光信号が光アンプにより増幅された時、光アンプの出力光を従来の光スペクトル分析装置で示したグラフ図である。

【図2】 図1に図示された光アンプの出力光から光信号対雑音比を測定する方法を示したグラフ図である。

【図3】 光フィルタを用いた波長分割多重方式光通信において光アンプの出力光を従来の光スペクトル分析装置で示したグラフ図である。

【図4】 従来の技術により偏光調節器と直線偏光器を用いて光信号対雑音比を測定する装置を図示する図面である。

【図5】 図5 (a) は図4の偏光調節器に図1と同一の光スペクトルを有する光アンプの出力光が入力され、光検出器に入力される光の強さが最大である時測定値を波長により図示したグラフ図である。図5 (b) は図4の光検出器に入力される光の強さが最小の時の測定値を波長により図示したグラフ図である。

【図6】 図6 (a) は図4の偏光調節器に図3のような光スペクトルを有する光アンプの出力光が入力され、

光検出器に入力される光の強さが最大時の測定値を波長により図示したグラフ図である。図6 (b) は図4の光検出器に入力される光の強さが最小時の測定値を波長により図示したグラフ図である。

【図7】 本発明の一実施形態による光信号対雑音比を測定する装置を図示した構成図である。

【図8】 図8 (a) と (b) とは光フィルタを用いた光アンプの出力光を光スペクトル分析装置を使用して分析したグラフ図である。

【図9】 図9 (a) は図8 (b) のような光スペクトルを有する光アンプの出力光を図7の帯域通過光可変フィルタに入力し測定したストークス媒介変数  $S_0, S_1, S_2, S_3$  を波長に対して示したグラフ図である。図9 (b) は測定した  $S_0$  と雑音の強さを波長に対して表したグラフ図である。

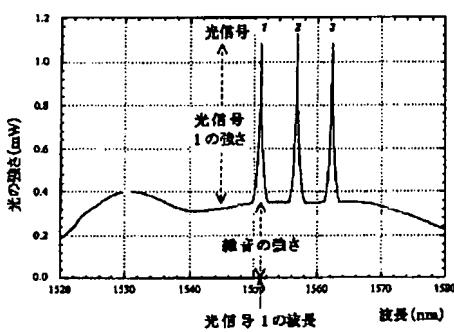
【図10】 図9 (b) の  $S_0$  と雑音の強さから偏光された光の強さ/雑音の強さを波長に対して示したグラフ図である。

【図11】 本発明の一実施形態による光信号対雑音比を測定する方法を図示したフローチャートである。

#### 【符号の説明】

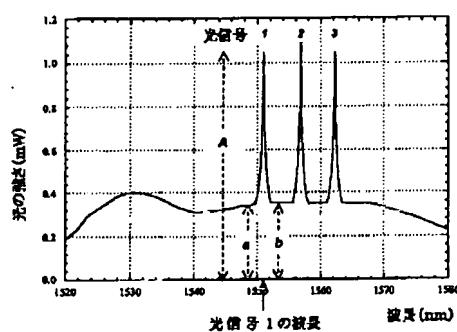
- 700 光信号対雑音比測定装置
- 701 帯域通過光可変フィルタ
- 702 1 × 4 光分配器
- 703 0° 直線偏光器
- 704 90° 直線偏光器
- 705, 707 45° 直線偏光器
- 706  $\lambda/4$  位相遅延器
- 708, 709, 710, 711 光検出器
- 713, 714, 716, 718, 720 加算器
- 715, 717 乗算器
- 719 信号処理手段
- 721 除算器

【図1】



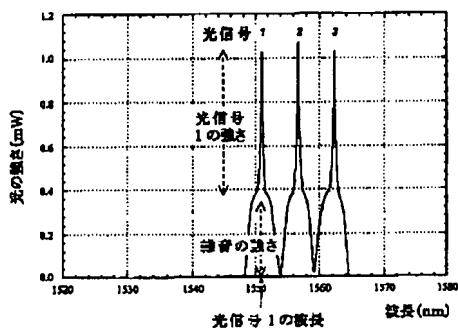
$$\text{光信号1の光信号対雑音比} = \frac{\text{光信号1の強さ}}{\text{光信号1の波長での雑音の強さ}}$$

【図2】



$$\text{光信号1の光信号対雑音比} = \frac{\text{光信号1の強さ}}{\text{aとbの平均の強さ}} = \frac{A - (a+b)/2}{(a+b)/2}$$

【図3】

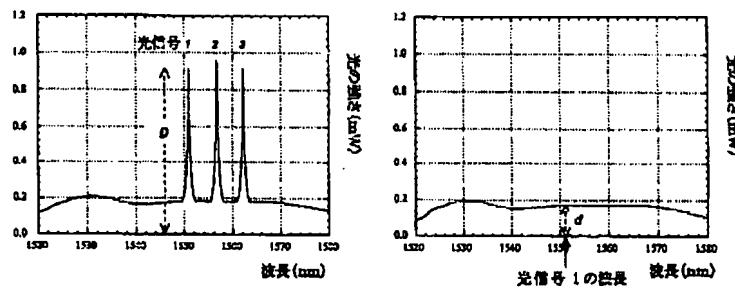


$$\text{光信号 1 の強さ} = \frac{\text{光信号 1 の強さ}}{\text{光信号 1 の強さ} + \text{光信号 2 の強さ} + \text{光信号 3 の強さ}}$$

【図4】



【図5】

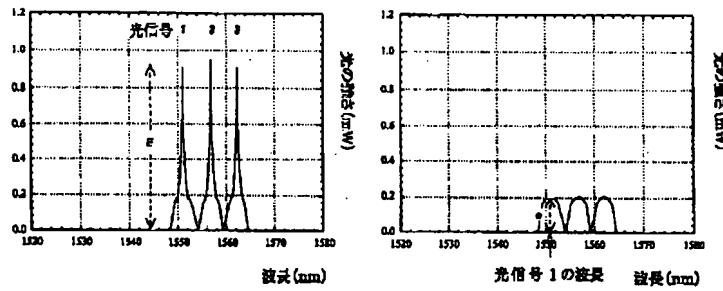


(a)

(b)

$$\text{光信号 1 の強さ} = \frac{\text{光信号 1 の強さ}}{\text{光信号 1 の強さ} + \text{光信号 2 の強さ} + \text{光信号 3 の強さ}} = \frac{D \cdot d}{2 \cdot d}$$

【図6】

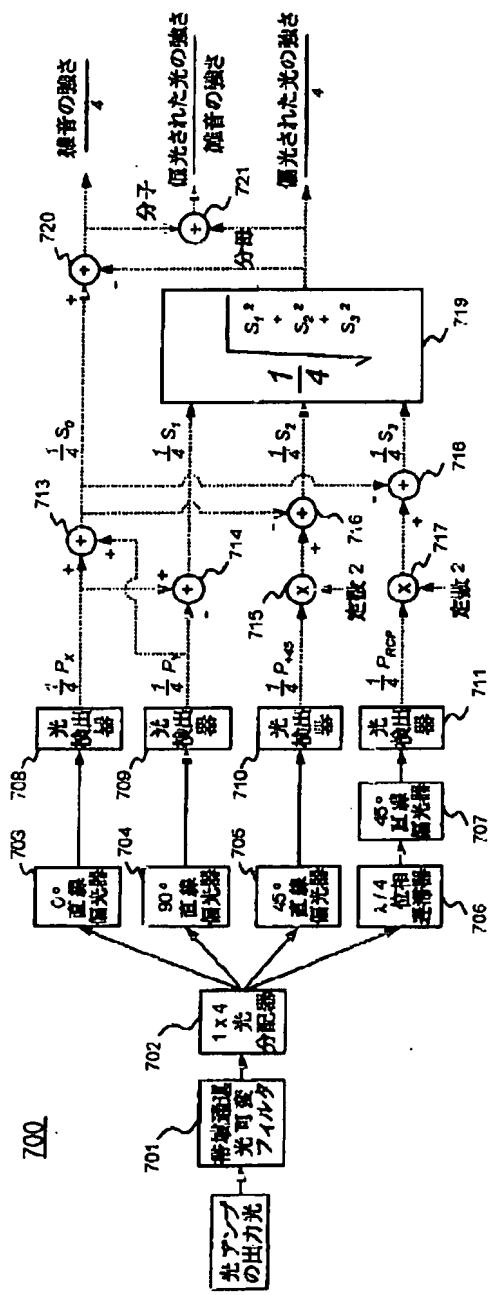


(a)

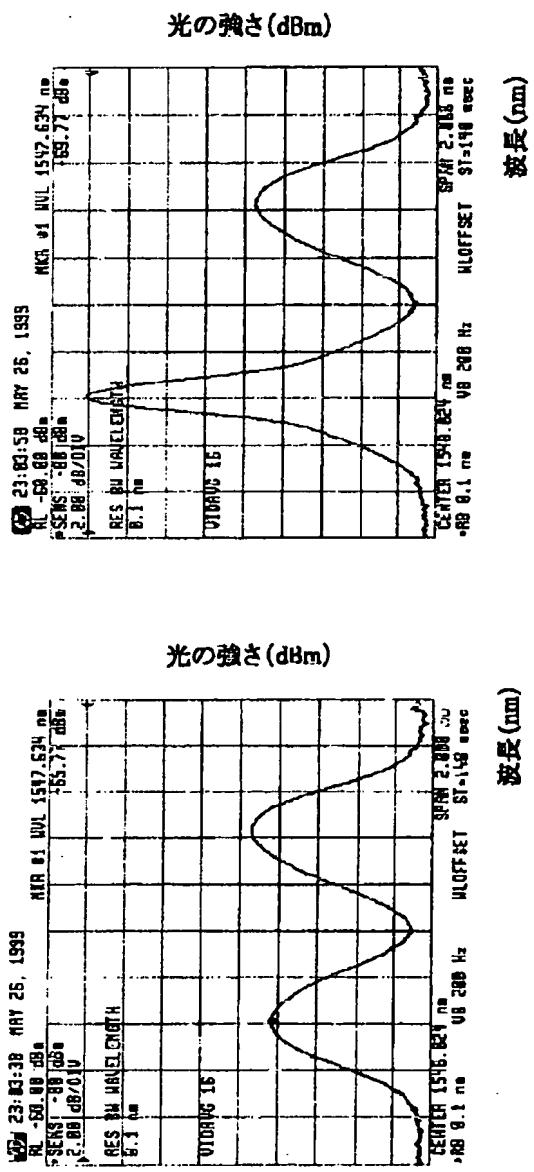
(b)

$$\text{光信号 1 の強さ} = \frac{\text{光信号 1 の強さ}}{\text{光信号 1 の強さ} + \text{光信号 2 の強さ} + \text{光信号 3 の強さ}} = \frac{E \cdot e}{2 \cdot e}$$

【図7】



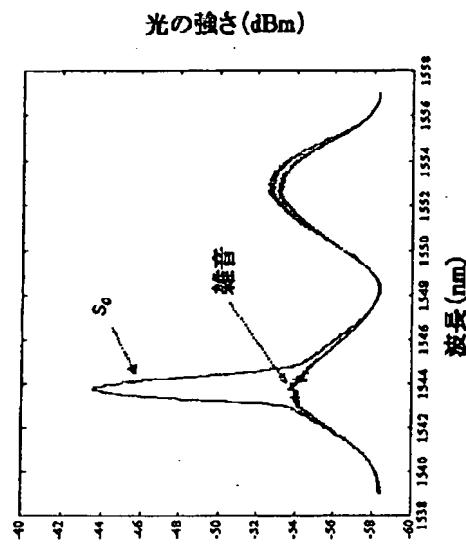
【図8】



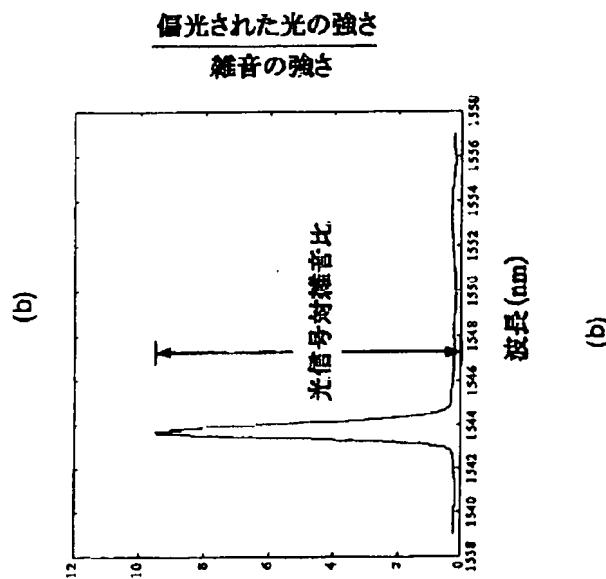
(b)

(a)

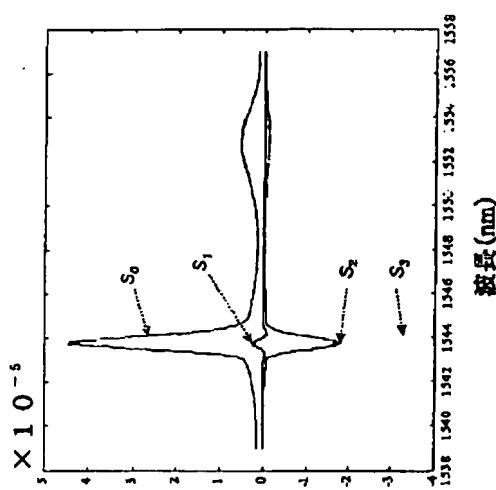
【図9】



【図10】

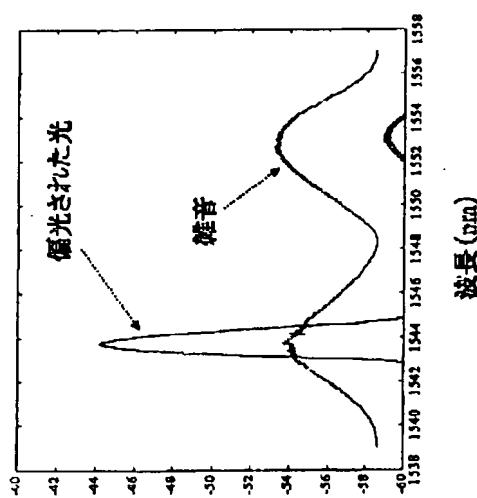


強さ (mW)



(a)

強さ (dBm)



(a)

【図11】

